

Dr. rer. nat. Michael Möckel, MAST (Cantab)

Fraunhofer ISI, Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe, Deutschland

Neue technologische Entwicklungen bei mobilen Stromspeichern

Die Entwicklung von elektrisch betriebenem Individualverkehr erfährt unter dem Label „Elektromobilität“ gegenwärtig viel Aufmerksamkeit in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Positiven Zukunftserwartungen wie der (lokalen) Emissionsfreiheit –insbesondere bei Erzeugung der Antriebsenergie aus regenerativen Quellen –, der Reduktion von Verkehrslärm oder auch einem neuen Fahrgefühl durch elektrisch betriebene (Zusatz-)motoren stehen jedoch grundlegende technologische Herausforderungen entgegen, allen voran bei der Vorhaltung der elektrischen Antriebsenergie eines Elektrofahrzeuges in effizienten mobilen Stromspeichern. Der Begriff Effizienz umfasst dabei u.a. Aspekte des Wirkungsgrades (Verhältnis von ein- zu ausgespeicherter Energie), kurzer Lade- und Entladezeiten, der kalendarischen bzw. zyklischen Lebensdauer, der Kosten sowie - charakteristisch für mobile Anwendungen – das Gesamtgewicht des bewegten Energiespeichers (hohe Relevanz gravimetrischer Parameter).

Die technische Schwierigkeit, elektrische Energie ohne Umwandlung in einen anderen Energieträger in großem Stil bidirektional zu speichern (und dem Speicher zu entnehmen), konnte seit der Erfindung der Elektrizität bis heute nicht zufriedenstellend gelöst werden. Die heute diskutierten Verbesserungen bei direkten Stromspeichern stellen allesamt keine fundamentalen Durchbrüche in dieser Frage dar, erlauben jedoch durch die Optimierung von Material, (Nano-) Strukturierung und Prozess die Kombination traditionell mit verschiedenen Speicherparadigmen assoziierten Leistungsfähigkeiten:

Die direkteste Form der Speicherung elektrischer Energie in einem elektrischen Feld realisiert man traditionell mit passiven Bauelementen der Leistungselektronik, allen voran in Super-Caps genannten Kondensatoren. Diese bieten vergleichsweise hohe gravimetrische Leistungsdichten von $>20 \text{ kW/kg}$ bei sehr kurzen Lade- und Entladezeiten und eignen sich für die kurzfristige Bereitstellung von Leistungsspitzen. Da Kondensatoren auf einem physikalischen Grenzflächeneffekt beruhen, ihre Leistungsdaten also proportional zu einem Oberflächenmaß skalieren, lassen sich nur geringe volumetrische oder gravimetrische Energiedichten realisieren.

Soll nicht kurzfristig verfügbare Leistung, sondern eine substantielle Menge elektrischer Energie gespeichert werden sind bidirektionale elektrochemische Energiespeicher (sekundäre Batterien bzw. Akkumulatoren) die etablierte Technologie. Diese beruht auf dem separierten Transport von Ionen und Elektronen zwischen zwei reversiblen und in einer galvanischen Zelle räumlich getrennten Red-/Ox- Teilreaktionen. Die Nutzung elektrochemischer Reaktionen bedeutet einen relativ hohen Materialbedarf und impliziert dadurch (verglichen mit anderen Energieträgern) relativ geringe gravimetrische Energiedichten. Zudem birgt sie das Risiko von unerwünschten Nebenreaktionen, die die Reversibilität und damit die Lebensdauer

der Batterie begrenzen. Die oft relativ langsame Ionenwanderung bedingt hohe Innenwiderstände sowie lange Lade- und Entladezeiten und erfordert den Einsatz von flüssigen, gelartigen oder den Übergang zu neuentwickelten festkörperbasierten Elektrolyten.

Das derzeit favorisierte Batteriesystem („benchmark“) ist der Lithium-Ionen Akkumulator. Er erreicht gegenwärtig gravimetrische bzw. volumetrische Energiedichten von 210 Wh/kg und 650 Wh/l (vgl. fossile Kraftstoffe ca. 3 kWh/l), lange zyklische Lebensdauern und niedrige Leistungsdichten von ca. 2 kW/kg. Weiterentwicklungen lassen sich als eine Abfolge von Technologie-Generationen, oft bezeichnet durch die eingesetzten elektrochemischen Systeme (Elektrodenmaterialien), verstehen: Während Lithium-Eisenphosphat und Lithium - Oxide etablierte Batteriesysteme darstellen, werden mittelfristig Lithium (Nickel/Kobalt oder Mangan)– Phosphat oder Spinelle als attraktive Lösungen gesehen. Li-Schwefel oder Li-Luft Batterien gelten wegen der zu erwartenden höheren Energiedichte als langfristig interessante Systeme und erfahren als potentiell disruptive Technologien besondere Beachtung und finanzielle Förderung in den USA [1].

Zunehmend eingesetzt werden Verfahren der Nanostrukturierung der Elektroden [2], u.a. um deren Oberfläche und damit die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Einlagerung von Ionen zu erhöhen. Erste Experimente haben Leistungsdichten in nanostrukturierten Lithium-Eisen-Phosphat von bis zu 25 kW/l auf Systemebene demonstriert [3], wodurch die Unterschiede in der Leistungsdichte zwischen Super Caps und Lithium-Ionen Batterien deutlich reduziert wurden.

Einen alternativen Forschungsansatz stellt das Konzept einer all-electron battery dar, bei der auch im Innenraum statt Ionen- ausschließlich Elektronenströme fließen. Das Konzept gründet auf dem Bauprinzip eines Kondensators, wobei sich in dem Dielektrikum nahe an den Elektroden nanotechnologisch eingebrachte Quantenpunktsysteme befinden. Bei Ladevorgängen können Elektronen auf die Quantenpunkte übergehen („tunneln“) und somit die bei Kondensatoren auf die Oberfläche begrenzte Ladung in das umliegende Volumen erweitern. Daraus resultiert eine gegenüber Kondensatoren erhöhte Speicherkapazität und Entladungsstabilität [4]. Eine kritische Analyse dieser Technologie steht jedoch noch aus.

Literatur:

[1] Fraunhofer ISI, Technologie-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe 2010

[2] A. Thielmann und O. Rothengatter, Trends in Battery Technology Patents Indicating the Onset of a New Battery Generation Based on Nanomaterials, Nanotechnology Law and Business, Vol 5, No. 4, p 391-410, 2008

[3] Byoungwoo Kang & Gerbrand Ceder, Battery materials for ultrafast charging and discharging, Nature (London) Vol 458, p. 190, 2009

[4] Timothy P. Holme, Friedrich B. Prinz, Patent US 2010/0183919; Timothy P. Holme, Friedrich B. Prinz, und Takane Usui, Patent US 2010/0255381